



УДК 621.7.08
doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-7



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Датчик давления со сниженной температурной погрешностью

Елизавета Анатольевна Рыблова

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
Elizaveta.ryblova@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является снижение температурной составляющей погрешности полупроводниковых датчиков давления. Рассматриваются два метода определения оптимального уровня легирования: графический – на основе модели Канда и аналитический – составление алгоритма для расчета оптимальной концентрации. Результат, полученный графическим методом не является достаточно точным, поэтому проводится расчет оптимальной концентрации аналитическим методом. Таким образом, определяется оптимальное значение концентрации легирующей примеси, позволяющей снизить температурную зависимость полупроводникового тензодатчика давления.

Ключевые слова: полупроводниковый датчик давления, чувствительный элемент, уровень легирования, температурная погрешность

Для цитирования: Рыблова Е. А. Датчик давления со сниженной температурной погрешностью // Инжиниринг и технологии. 2022. Т. 7(1). С. 1–5. doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-7

Pressure sensor with reduced temperature error

Elizaveta A. Ryblova

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
Elizaveta.ryblova@mail.ru

Abstract. The aim of the study is to reduce the temperature error for semiconductor pressure sensors. The two methods to determine the optimal level of doping are considered. These are a graphical method based on the Kanda model, and an analytical one premised on drawing up an algorithm for calculating the optimal concentration. The result obtained by the graphical method is not sufficiently accurate; therefore, the calculation of the optimal concentration is carried out by the analytical method. Thus, the optimal value of the dopant concentration is determined, which allows to reduce the temperature dependence of the semiconductor pressure load cell.

Keywords: semiconductor pressure sensor, sensing element, doping level, temperature error

For citation: Ryblova E.A. Pressure sensor with reduced temperature error. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2022;7(1):1–5. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-7

Полупроводниковые тензорезистивные датчики давления характеризуются значительной температурной погрешностью выходного сигнала. Температурная погрешность таких датчиков обусловлена зависимостью коэффициента тензочувствительности от температуры. Одним из методов компенсации температурной составляющей погрешности является введение примеси в полупроводник методом диффузии или ионной имплантации. Достигая определенного значения концентрации легирующей примеси, можно минимизировать температурную погрешность чувствительности.

Влияние температуры и уровня легирования на тензосопротивление монокристалла кремния характеризует модель Канда, которая описывает зависимость коэффициента тензочувствительности для полупроводников *p*-типа от температуры при различных значениях концентрации легирующей примеси.

В соответствии с моделью Канда коэффициент тензочувствительности монокристаллического кремния выражается зависимостью



$$\pi(N, T) = \pi(N_0, 300K) \cdot P(N, T), \quad (1)$$

где $\pi(N, 300K)$ – тензорезистивный коэффициент для слаболегированного кремния при нормальной температуре 300K; N – концентрация легирующей примеси, см^{-3} ; T – абсолютная температура, K; K – постоянная Больцмана.

Определение коэффициента тензочувствительности как функции, зависящей от концентрации легирующей примеси и температуры, производится в следующей последовательности.

1. Определяется безразмерная величина ε по следующей формуле:

$$\varepsilon(N, T) = \frac{N}{N_S(T)}, \quad (2)$$

где N – текущий уровень легирования в кремнии, см^{-3} ; N_S – поправочный коэффициент, учитывающий температурную зависимость концентрации, который рассчитывается следующим образом:

$$N_S(T) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot 2,5 \cdot 10^{19} \cdot \left(\frac{0,59}{300} \cdot T \right)^{\frac{3}{2}}. \quad (3)$$

2. Для определения уровня Ферми используется упрощенная аппроксимация Джойса – Диксона, и уравнение принимает следующий вид:

$$\eta_f(N, T) = \ln(\varepsilon(N, T)) + \frac{1}{\sqrt{8}} \cdot \varepsilon(N, T). \quad (4)$$

3. Главный тензорезистивный коэффициент как функция температуры эксплуатации и концентрации легирующей примеси (в данном случае – В) определяется по формуле

$$P(N, T) = \frac{300}{T} \cdot \frac{1}{(1 + \exp(-\eta_f(N, T))) \cdot (\ln(1 + \exp(\eta_f(N, T))))}. \quad (5)$$

На основе выражений (1)–(5) была построена зависимость главного тензорезистивного коэффициента от температуры при различных значениях концентрации легирующей примеси N (рис. 1). Главный тензорезистивный коэффициент уменьшается с увеличением температуры и увеличением концентрации примеси [1].

Из графика, представленного на рис. 1, видно, что при концентрации примеси, начиная со значения $N = 1 \cdot 10^{19}$, температурная зависимость коэффициента тензочувствительности существенно уменьшается. Для наглядности была построена зависимость тензорезистивного коэффициента от температуры, при концентрациях примеси начиная с 10^{19} до 10^{20} (рис. 2).

Из графика, представленного на рис. 2, видно, что наименьшая температурная зависимость соответствует концентрации примеси $N \approx 5 \cdot 10^{19}$.

Таким образом, было определено оптимальное значение концентрации бора графическим методом, однако точность такого определения недостаточна для оценки влияния концентрации бора на температурную погрешность полупроводникового преобразователя.

Поэтому был предложен численный метод определения оптимальной концентрации бора, позволяющий определить значение концентрации, при котором температурная зависимость коэффициента $P(N, T)$ минимальна.

В программном пакете MathCAD был составлен алгоритм, блок-схема и подробное описание которого представлено на рис. 3.

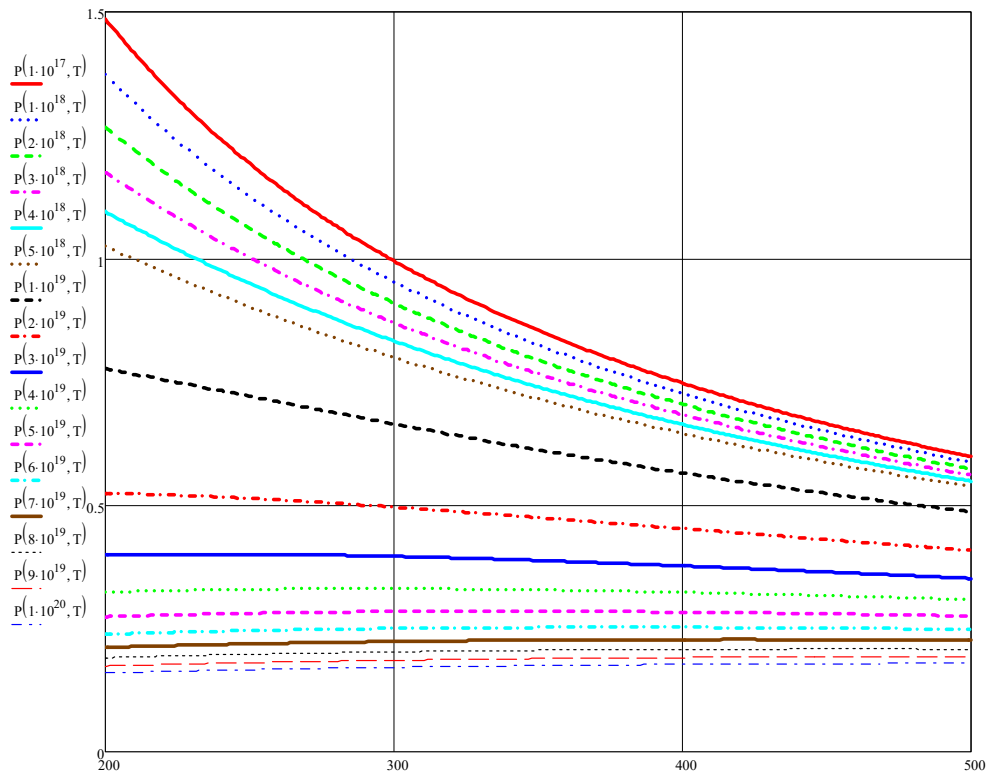
Значение концентрации легирующей примеси, найденное численным методом, составило $4,94 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ [2].

Для наглядности данные полученные в результате использования графического и аналитического методов сведены в табл. 1.

Таким образом, значение концентрации легирующей примеси, соответствующее минимальной температурной погрешности, составило $4,94 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. При этом температурная погрешность выходного сигнала мостовой схемы при найденном значении концентрации составила 0,29 %.



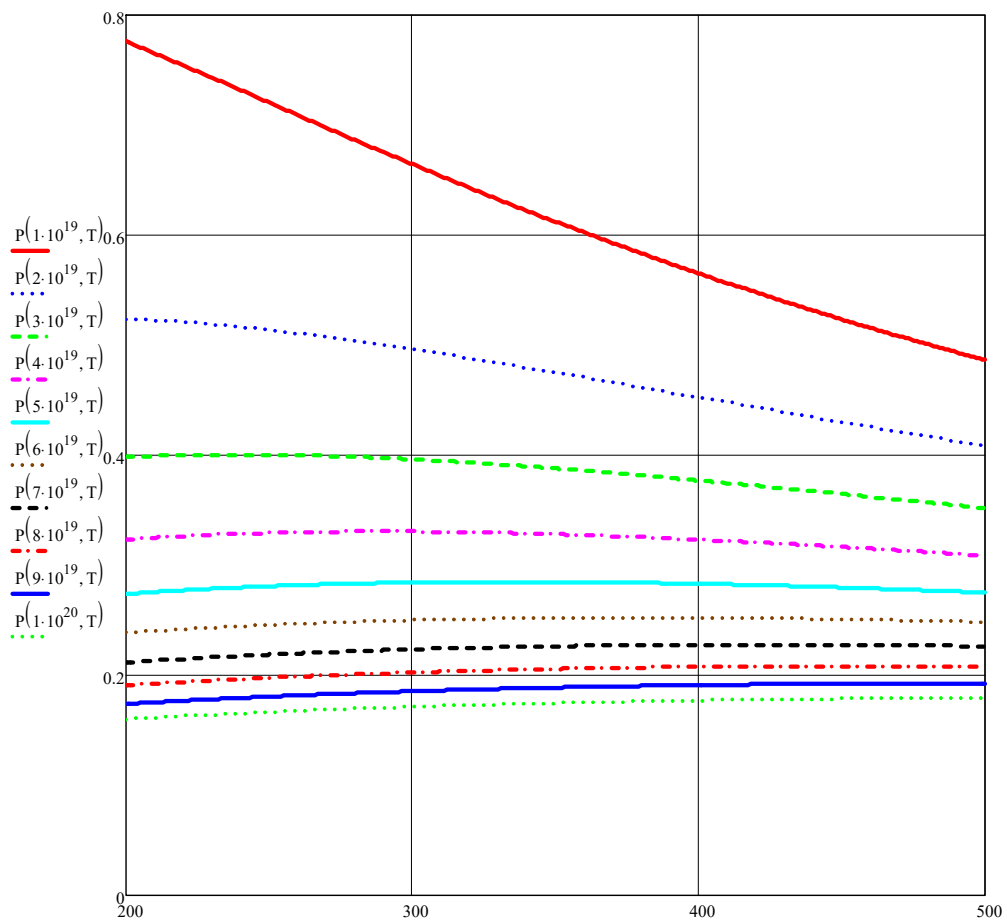
$P(N,T)$



T, K

Рис. 1. Зависимость тензорезистивного коэффициента от температуры

$P(N,T)$



T, K

Рис. 2. Зависимость тензорезистивного коэффициента от температуры



1. Для начала задали диапазон значений температур от 293 до 393 K с шагом 1 K и значений концентрации легирующей примеси от $4,5 \cdot 10^{19}$ до $9 \cdot 10^{19}$ с шагом $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

2. Если значение концентрации меньше или равно максимальному значению, а значение температуры меньше или равно максимальному, то переходим к расчету.

3. Определяем следующие параметры: главный тензорезистивный коэффициент – P , подвижность дырок при максимальной и минимальной температуре – μ , удельное сопротивление – ρ , температурный коэффициент сопротивления – α .

4. Определяется значение сопротивления каждого из резисторов и выходное напряжение мостовой схемы (моста Уитстона).

5. Далее определяется значение главного тензорезистивного коэффициента при минимальном значении температуры и значение номинального напряжения.

6. Для каждого значения концентрации определяется температурная погрешность выходного сигнала.

7. Из получившихся значений выбирается минимальное значение температурной погрешности выходного сигнала и соответствующее ей значение концентрации легирующей примеси.

Рис. 3. Блок-схема алгоритма нахождения численного значения оптимальной концентрации примеси

Таблица 1

Метод определения концентрации легирующей примеси	Численное значение концентрации	Температурная погрешность выходного сигнала
Графический метод	$5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$	0,28 %
Аналитический метод (алгоритм)	$4,94 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$	0,29 %



Список литературы

1. Волков В. С., Рыблова Е. А. Исследование влияния концентрации легирующей примеси на температурную зависимость тензочувствительности полупроводниковых тензорезисторов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2017. № 2 (20). С. 40–47.
2. Волков В. С., Волкова Н. В., Рыблова Е. А. Совершенствование методики определения оптимальной концентрации бора при создании кремниевых тензопреобразователей давления // Актуальные проблемы химического образования : материалы Всерос. науч.-практ. конф. учителей химии и преподавателей вузов / под общ. ред. Н. В. Волковой. Пенза : Изд-во ПГУ, 2020. С. 93–96.

References

1. Volkov V.S., Ryblova E.A. The study of dopant concentration influence on the temperature dependence of gage factor for semiconductor strain gauges. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2017;(2):40–47. (In Russ.)
2. Volkov V.S., Volkova N.V., Ryblova E.A. Improving the method for determining the optimal boron concentration in the development of silicon pressure strain gauges. *Aktual'nye problemy khimicheskogo obrazovaniya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. uchiteley khimii i prepodavateley vuzov = Actual problems of chemical education: materials of All-Russian scientific and practical conference of chemistry teachers and university professors.* Penza: Izd-vo PGU, 2020:93–96. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 25.02.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 29.03.2022

Принята к публикации / Accepted 15.04.2022